

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-114173

(43)Date of publication of application : 02.05.1995

(51)Int.Cl.

G03F 1/08
G03F 1/16
H01L 21/027

(21)Application number : 05-258085

(71)Applicant : CANON INC

(22)Date of filing : 15.10.1993

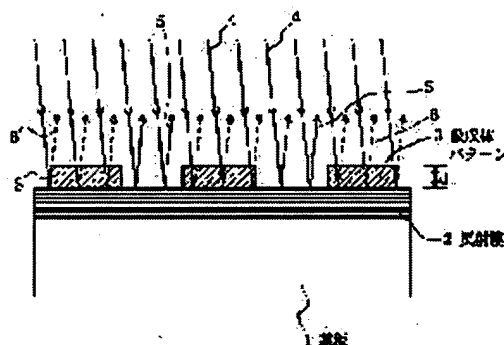
(72)Inventor : WATANABE YUTAKA
HAYASHIDA MASAMI

(54) REFLECTION MASK FOR LITHOGRAPHY AND REDUCTION STEPPER

(57)Abstract:

PURPOSE: To clarify the condition to be fulfilled by an absorber with respect to a half-tone reflection mask to be used in lithography using soft X-ray or vacuum UV.

CONSTITUTION: When the optical constant of the substance constituting an absorber pattern 3 to be formed on a reflecting film 2 is expressed by $1-\delta-ik$ (δ and (k) are a real number, and (i) is an imaginary unit) and the working wavelength by λ , $0.29 < k/\delta < 1.12$ holds, and $3\lambda/(16\delta) < d < 5\lambda/(16\delta)$, where (d) is the thickness of the absorber pattern, is fulfilled.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 03.09.1998

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3078163

[Date of registration] 16.06.2000

[Number of appeal against examiner's decision of

rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-114173

(43) 公開日 平成7年(1995)5月2日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 3 F 1/08	A			
1/16	A			
H 0 1 L 21/027		7352-4M	H 0 1 L 21/ 30	5 3 1 M
審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 14 頁)				

(21) 出願番号 特願平5-258085

(22) 出願日 平成5年(1993)10月15日

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72) 発明者 渡辺 豊

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

(72) 発明者 林田 雅美

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

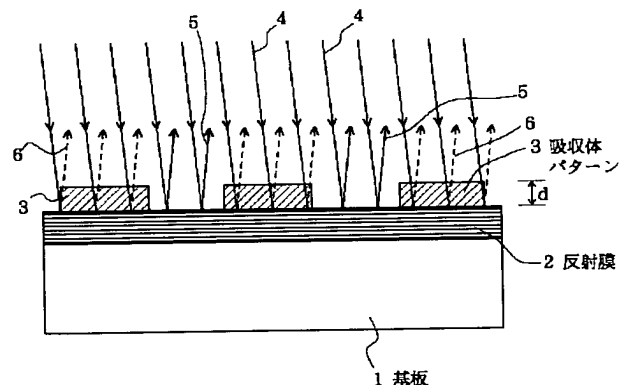
(74) 代理人 弁理士 若林 忠

(54) 【発明の名称】 リソグラフィ用反射型マスクおよび縮小投影露光装置

(57) 【要約】

【目的】 軟X線あるいは真空紫外線を用いたリソグラフィに使用されるハーフトーンタイプの反射型マスクに関し、吸収体の満たすべき条件を明確にする。

【構成】 反射膜2上に形成される吸収体パターン3を構成する物質の光学定数を $1 - \delta - i k$ (δ, k は実数、 i は虚数単位) と表わし、使用波長を λ とするとき、① $0.29 < k / |\delta| < 1.12$ が成立するようにし、② 吸収体パターン3の厚さ d が $3\lambda / (16|\delta|) < d < 5\lambda / (16|\delta|)$ を満たすようにする。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 原版としてのパターンが形成され光源からの軟 X 線あるいは真空紫外線を反射して露光対象に前記パターンを投影するために使用されるリソグラフィ用反射型マスクにおいて、

前記パターンが、前記軟 X 線あるいは真空紫外線を反射する反射部の上に設けられた吸収体パターンで構成され、

前記軟 X 線あるいは真空紫外線の波長を λ とし、前記吸収体パターンをなす物質の光学定数を $1 - \delta - i k$

(δ, k は実数、 i は虚数単位) と表わす時、

$$0.29 < k / |\delta| < 1.12$$

が成立し、前記吸収体パターンの厚さ d が

$$3\lambda / (16|\delta|) < d < 5\lambda / (16|\delta|)$$

を満たすことを特徴とするリソグラフィ用反射型マスク。

【請求項 2】 軟 X 線あるいは真空紫外線の波長を λ (nm) とする時、

$$k > 0.0004\lambda$$

である請求項 1 に記載のリソグラフィ用反射型マスク。

【請求項 3】 軟 X 線あるいは真空紫外線の波長が 13 nm 近傍であり、前記吸収体パターンが、V, Cr, Mn, Fe, Co, Ag, Cd, In, Sn, Sb, ランタノイド元素, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, Au, Ti, Pb, Bi の中から選ばれた 1 種の単体、あるいはこれらの中の少なくとも 1 つの元素を含む物質からなる、請求項 1 に記載のリソグラフィ用反射型マスク。

【請求項 4】 軟 X 線あるいは真空紫外線の波長が 13 nm 近傍であり、前記吸収体パターンが、B, C, Ti, Zr, Mo, Ru, Rh, Pd を一群とする元素群の中から選ばれた少なくとも 1 つの元素と、Ca, Mg, Al, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Te を一群とする元素群の中から選ばれた少なくとも 1 つの元素とを同時に含む物質からなる、請求項 1 に記載のリソグラフィ用反射型マスク。

【請求項 5】 軟 X 線あるいは真空紫外線の波長が 5 nm 近傍であり、前記吸収体パターンが、Mg, Al, Si, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Rh, Pd, Ag, ランタノイド元素, Hf, Au, Pb, Bi の中から選ばれた 1 種の単体、あるいはこれらの中の少なくとも 1 つの元素を含む物質からなる、請求項 1 に記載のリソグラフィ用反射型マスク。

【請求項 6】 軟 X 線あるいは真空紫外線の波長が 5 nm 近傍であり、前記吸収体パターンが、Ca, Sc, Ti, V, Ru, Cd, In, Sn, Sb, Te, Ba を一群とする元素群の中から選ばれた少なくとも 1 つの元素と、Y, Zr, Nb, Mo, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt を一群とする元素群の中から選ばれた少なくとも 1 つの元素とを同時に含む物質からなる、請求項 1 に記載のリソグラフィ用反射型マスク。

【請求項 7】 軟 X 線あるいは真空紫外線を発生する光源と、原版としてのパターンが形成された反射型マスクと、前記光源からの軟 X 線あるいは真空紫外線を前記反射型マスクに照射するための照射光学系と、レジストが塗布されたウェハ上に前記反射型マスクから反射された軟 X 線あるいは真空紫外線を縮小投影するための反射鏡からなる結像光学系と、前記反射型マスクと前記ウェハとの位置合わせを行なうアライメント光学系とを備えた縮小投影露光装置において、

前記パターンが、前記軟 X 線あるいは真空紫外線を反射する反射部の上に設けられた吸収体パターンで構成され、

前記軟 X 線あるいは真空紫外線の波長を λ とし、前記吸収体パターンをなす物質の光学定数を $1 - \delta - i k$

(δ, k は実数、 i は虚数単位) と表わす時、

$$0.29 < k / |\delta| < 1.12$$

が成立し、前記吸収体パターンの厚さ d が

$$3\lambda / (16|\delta|) < d < 5\lambda / (16|\delta|)$$

を満たすことを特徴とする縮小投影露光装置。

【請求項 8】 軟 X 線あるいは真空紫外線の波長を λ (nm) とする時、

$$k > 0.0004\lambda$$

である請求項 7 に記載の縮小投影露光装置。

【請求項 9】 軟 X 線あるいは真空紫外線の波長が 13 nm 近傍であり、前記吸収体パターンが、Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, ランタノイド元素, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, Au, Ti, Pb, Bi の中から選ばれた 1 種の単体、あるいはこれらの中の少なくとも 1 つの元素を含む物質からなる、請求項 7 に記載の縮小投影露光装置。

【請求項 10】 軟 X 線あるいは真空紫外線の波長が 13 nm 近傍であり、前記吸収体パターンが、B, C, Zr, Mo, Ru, Rh を一群とする元素群の中から選ばれた少なくとも 1 つの元素と、Ca, Mg, Al, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Te を一群とする元素群の中から選ばれた少なくとも 1 つの元素とを同時に含む物質からなる、請求項 7 に記載の縮小投影露光装置。

【請求項 11】 軟 X 線あるいは真空紫外線の波長が 5 nm 近傍であり、前記吸収体パターンが、Mg, Al, Si, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, ランタノイド元素, Hf, Au, Pb, Bi の中から選ばれた 1 種の単体、あるいはこれらの中の少なくとも 1 つの元素を含む物質からなる、請求項 7 に記載の縮小投影露光装置。

【請求項 12】 軟 X 線あるいは真空紫外線の波長が 5 nm 近傍であり、前記吸収体パターンが、Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Ru, Rh, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Ba を一群とする元素群の中から選ばれた少なくとも 1 つの元素と、Y, Zr, Nb, Mo, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt を一群とする元素群の中から選

ばれた少なくとも 1 つの元素とを同時に含む物質からなる、請求項 7 に記載の縮小投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、原版としてのパターンが形成され軟 X 線あるいは真空紫外線を反射してこのパターンをレジスト上に縮小投影する際に使用される反射型マスクと、この反射型マスクを使用する縮小投影露光装置に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体素子を製造するための微細な構造を光学的にレジストに露光・転写するリソグラフィでは、半導体素子の高集積化、微細化に伴って、より高い解像度が求められるようになってきている。このため、より波長の短い光、すなわち軟 X 線あるいは真空紫外線がリソグラフィに使用されるようになってきた。軟 X 線あるいは真空紫外線を用いるリソグラフィを行なうための露光装置は、予め転写パターンが形成されている反射型のマスクを使用し、シンクロトロンあるいはレーザープラズマなどの光源からの軟 X 線あるいは真空紫外線をこの反射型マスクに照射し、マスクから反射された軟 X 線あるいは真空紫外線を複数枚の反射鏡によってレジスト上に縮小投影する。反射型マスクとしては、反射鏡の上に転写パターンに応じた吸収体、あるいは反射防止膜などが設けられたものが一般的である。反射鏡としては、物質を交互に積層した多層膜が用いられてきた。

【0003】

反射型マスクにおいても、以下のような「位相シフト法」が用いられている。すなわち、反射型マスクにおいて隣り合ったパターンで反射する X 線の位相が π だけずらしてあれば、このマスクで反射した軟 X 線あるいは真空紫外線を反射鏡によってレジスト上に縮小投影した場合、これらのパターンの間で X 線強度が干渉によって 0 となるのでコントラストが向上する。また、結像光学系の開口数 (N.A.) を大きくしなくても回折による転写パターンのコントラスト低下の影響を低減することができるので、焦点深度を深くできる。このため、ウエハの位置合わせ誤差やウエハのそりなどによる焦点ずれの影響が表われにくく、転写パターンのコントラスト低下を防ぐことができる。

【0004】このような位相シフト反射型マスクを実現する方法としては、例えば特開平 4-118914 号公報に示されているように、マスク基板に予め段差を設けておき、この上に多層膜を形成する方法があった。図 17 はこのような反射型マスクの構成を示す図である。マスク基板 101 の上に段差パターン 103 を形成し、そののち、反射部を構成する多層膜 104 をマスク基板 101 の全面に積層し、段差パターン 103 の存在によって段差を生じた部分の多層膜 104 の上の吸収体 105 を設けた構成となっている。段差の高さは、その段差の存在による光路差が所望の位相差に対応するように、適宜設定さ

れている。

【0005】また、X 線用の透過型マスクにおいて位相シフトを利用したものとして、米国特許第 4890309 号明細書に開示されたものがある。図 18 は、このような透過型マスクの構成を示す断面図である。このマスクでは、透過膜 114 に吸収体パターン 115 が設けられているが、吸収体パターン 115 としては、完全に X 線を吸収するものではなく、X 線強度が約 $1/10$ となり、かつ同時に位相がほぼ π 変化するものが選ばれている。吸収体がある程度 X 線を透過しかつ逆位相となっていることにより、回折の影響が抑制され、解像性能の向上が図られている。このようなタイプ、すなわち吸収体からもある程度の X 線が透過（反射）してくる位相シフトマスクをハーフトーンタイプのマスクと呼ぶ。

【0006】ところで、反射型マスクの場合、一般に軟 X 線ないし真空紫外線は反射面に対してある角度をもって入射するので、吸収体の高さによって反射部に陰が生じ、このため問題が生じる。このような問題を解決するために、特開平 1-175736 号公報には、吸収体を多層構成とすることによって吸収体パターンを薄くする技術が開示されている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】反射型位相シフトマスクのうちハーフトーンタイプ以外のものは、反射部、位相が反転した反射部、非反射部を必要とし、マスク作製に工程を多く必要とする。一方、透過型のハーフトーンタイプのマスクは、X 線の縮小投影露光において用いられる波長においては透過膜の透過率が低くてスループット低下の原因となり、また、一般に真空中で露光が行なわれるために透過膜の冷却ができず熱変形を起こし転写精度の劣化を招きやすいという問題点がある。

【0008】反射型マスクにおいては、ハーフミラーを使用しない限りマスクに垂直に照明光を照射することができず、そのため上述したように、吸収体の高さにより反射部に陰ができることとなり、レジストへの転写線幅の精度の点で問題となる。実際には、X 線の縮小投影露光において用いられる波長においてはハーフミラーの透過率、反射率とも大きくなく、そのことがスループットの低下につながるため、ハーフミラーを用いることは好まれない。なお、反射部に陰ができるというこの問題は、マスクに垂直に照明光を入射し得る透過型マスクにおいては、生じ得なかったものである。

【0009】結局、軟 X 線あるいは真空紫外線を用いて縮小投影露光を行なおうとする場合、実用的には、ハーフトーンタイプの反射型マスクを使用することになる。ところで、軟 X 線あるいは真空紫外線の領域においては、光の強度の測定は比較的容易であるが、反射型マスクからの位相の測定法は現状では確立していない。そのため、強度と位相を測定して吸収体の最適の厚さを決定することは困難である。

【0010】本発明の目的は、反射部に生じる陰を十分小さくするために吸収体の高さが十分低く抑えられ、かつ、具体的に好適な吸収体材料とその厚さが特定されて容易に製造することができるハーフトーンタイプの反射型マスクを提供し、また、この反射型マスクを利用した縮小投影露光装置を提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明のリソグラフィ用反射型マスクは、原版としてのパターンが形成され光源からの軟X線あるいは真空紫外線を反射して露光対象に前記パターンを投影するために使用されるリソグラフィ用反射型マスクにおいて、前記パターンが、前記軟X線あるいは真空紫外線を反射する反射部の上に設けられた吸収体パターンで構成され、前記軟X線あるいは真空紫外線の波長を λ とし、前記吸収体パターンをなす物質の光学定数を $1-\delta-ik$ (δ, k は実数、 i は虚数単位)と表わす時、 $0.29 < k/|\delta| < 1.12$ が成立し、前記吸収体パターンの厚さ d が $3\lambda/(16|\delta|) < d < 5\lambda/(16|\delta|)$ を満たす。

【0012】本発明の縮小投影露光装置は、軟X線あるいは真空紫外線を発生する光源と、原版としてのパターンが形成された反射型マスクと、前記光源からの軟X線あるいは真空紫外線を前記反射型マスクに照射するための照射光学系と、レジストが塗布されたウエハ上に前記反射型マスクから反射された軟X線あるいは真空紫外線を縮小投影するための反射鏡からなる結像光学系と、前記反射型マスクと前記ウエハとの位置合わせを行なうアライメント光学系とを備えた縮小投影露光装置において、前記パターンが、前記軟X線あるいは真空紫外線を反射する反射部の上に設けられた吸収体パターンで構成され、前記軟X線あるいは真空紫外線の波長を λ とし、前記吸収体パターンをなす物質の光学定数を $1-\delta-ik$ (δ, k は実数、 i は虚数単位)と表わす時、 $0.29 < k/|\delta| < 1.12$ が成立し、前記吸収体パターンの厚さ d が $3\lambda/(16|\delta|) < d < 5\lambda/(16|\delta|)$ を満たす。

【0013】

【作用】ハーフトーンタイプのマスクにおいては、吸収体を透過したX線の強度について、レジストを露光することがない程度に十分強度が小さいという条件と、露光されるべき領域に近接した領域すなわち吸収体の設置されている領域において位相が反転しその結果として線幅精度の向上が有効である程度に強度が大きいという条件とを、ともに満たすことが必要である。吸収体を透過した場合としない場合とのコントラスト比が5以上、好ましくは10以上になっていれば、吸収体を透過したX線の強度はレジストを露光することはないほど十分小さくなる。一方、吸収体を透過した場合の振幅がしない場合と比較して7%以上になっていれば、線幅精度の向上が有効である。コントラスト比が5であるということは、

回折により生じる2次ピークが1次ピークの $1/5$ でなければならないことを意味し、単に、吸収体の透過率が $1/5$ であるということは意味しない。図19(a)~(d)は、それぞれ、吸収体の透過率を0, 0.05, 0.1, 0.2とした場合のX線強度の空間分布すなわち回折ピーク強度を示すグラフである。このグラフにおいて回折の1次ピークと2次ピークを比較することにより、透過率が0.1の時にコントラスト比が5となることが分かる(図19(c)参照)。結局、吸収体を透過しその下にある反射部により反射されさらに吸収体を透過した軟X線あるいは真空紫外線の強度が、単に反射部により反射された軟X線あるいは真空紫外線の強度と比較して(この比を吸収体の透過率と呼ぶ)、0.005~0.1となったとき、最もハーフトーンタイプの反射型マスクとして有効であることになる。

【0014】そのためには、吸収体中で位相が反転するという条件から、吸収体を構成する物質の光学定数を $1-\delta-ik$ (δ, k は実数、 i は虚数単位)とおいたときに、

$$4|\delta|d/\lambda = 1 \quad \dots(1)$$

となることが最も好ましいが、以下の条件も位相がほぼ反転するので好ましいものである。

【0015】

$$3/4 < 4|\delta|d/\lambda < 5/4 \quad \dots(2)$$

また、強度比が0.005~0.1の範囲になければいけないということから、

$$1.151 < 4\pi kd/\lambda < 2.649 \quad \dots(3)$$

という条件が得られる。結局、 k と δ の比として、

$$0.29 < k/|\delta| < 1.12 \quad \dots(4)$$

が得られる。

【0016】軟X線あるいは真空紫外線による縮小露光を行なう場合、レジスト側での線幅は $0.1\mu\text{m}$ 程度となるように条件が設定される。縮小露光では一般に $1/4 \sim 1/5$ の縮小が行なわれるため、マスク上のパターンでは $0.4 \sim 0.5\mu\text{m}$ の線幅となっている。転写線幅精度の確保の観点から、マスク側のパターンにおいてその線幅の $1/10$ 以上が吸収体の厚さによる陰となってはならない。したがって、 $0.02 \sim 0.025\mu\text{m}$ 以上の部分が陰になってはいけないうこととなる。光学系の配置などから、反射型マスクへの入射角はマスクに垂直な軸から $7 \sim 10^\circ$ 程度傾く。以上のことにより、吸収体の厚さは $0.2\mu\text{m}$ 以下である必要があり、 $0.1\mu\text{m}$ より薄いことが望ましい。このことから、波長を λ (nm)とすると、 $k > 0.0004\lambda$ であり、好ましくは $k > 0.0008\lambda$ となる。

【0017】

【実施例】次に、本発明の実施例について図面を参照して説明する。図1は、本発明に基づく反射型マスクの基本的な構成を示す断面図である。

【0018】この反射型マスクはハーフトーンタイプの

ものであって、基板 1 の一方の表面全面に多層膜からなる反射膜 2 が設けられ、さらに反射膜 2 の上に厚さ d の吸収体パターン 3 が形成されている。反射膜 2 は軟 X 線あるいは真空紫外線を反射するためのものであり、使用波長に応じて材質、各層の厚さ、積層層数などが設定されている。吸収体パターン 3 は、縮小露光によってレジストなどの露光対象に転写すべきパターンに応じて形成されており、後述するように材質や厚さ d が選択されている。

【0019】軟 X 線あるいは真空紫外線である入射光 4 をこの反射型マスクに入射させると、吸収体パターン 3 のない部分では入射光 4 がそのまま反射されて反射光 5 として出射する。なお、入射光 4 は反射膜 2 の表面に対して垂直な方向から少し斜めを向いた方向から入射するものとする。吸収体パターン 3 が設けられている部分では、入射光 4 は減衰しながら吸収体パターン 3 を透過し反射膜 3 で反射され再び吸収体パターン 3 を減衰しながら透過し反射光 6（図示破線）として出射する。反射光 5 に比べ反射光 6 の位相はおよそ π ($3\pi/4 \sim 5\pi/4$) だけずれており、また反射光 6 の強度は反射光 5 の強度の 0.005 ~ 0.1 となっている。

【0020】次に、上述したハーフトーンタイプの反射型マスクを使用した縮小投影露光装置について説明する。図 2 (a) は本発明の一実施例の縮小投影露光装置の構成を示す模式図、図 2 (b) はこの縮小投影露光装置の結像光学系（縮小光学系）を示す模式図である。

【0021】上述したような反射型マスク 12 は、マスクステージ 19 上に保持されている。シンクロトロン放射施設などの光源 7 からの軟 X 線あるいは真空紫外線 8 を反射型マスク 12 に照射するために、2 枚のミラー 8、10 からなる照明光学系が設けられている。反射型マスク 12 から出射する光は、結像光学系 30 を介してウエハ 13 に照射されるようになっている。ウエハ 13 は、ウエハステージ 20 に保持されている。

【0022】結像光学系 30 の構成の詳細が図 2 (b) に示されている。この結像光学系 30 は、反射型マスク 12 上の吸収体パターンを例えば 1/5 の縮尺でウエハ 13 上に縮小投影するものであり、2 枚の凹面ミラー 21、23 と 1 枚の凸面ミラー 22 によって構成されている。反射型マスク 12 に軟 X 線あるいは真空紫外線 8 を照射すると、これらの光は反射型マスク 12 上の吸収体パターンに応じ、反射型マスク 12 の反射部によって直接反射され、あるいは吸収体を透過してから反射部で反射されさらに吸収体を透過する。そしてこれらの光は、結像光学系 30 においてミラー 21、22、23 によって順次反射され、ウエハ 13 上に反射型マスクの所望のパターンが縮小結像されことになる。

【0023】さらにこの縮小投影露光装置では、マスクステージ 19 上に基準アライメントマーク 16 が設置され、ウエハステージ 20 上にアライメントマーク 17 が

設置され、これらのマーク 16、17 を用いて位置合わせが行なわれるようになっている。すなわち、光源 14 からの光 15 がマスクステージ 19 側の基準アライメントマーク 16 に照射されると、その反射光が結像光学系 30 を経てウエハステージ 20 上のアライメントマーク 17 と干渉し、その干渉した光の強度が検出器 18 によって測定されるようになっている。そして、検出器 18 による測定結果に基づいて、反射型マスク 12 とウエハ 13 とのアライメントが行なわれる。この場合、光源 14 は光源 8 と同一でもよい。また、マスクステージ 19、ウエハステージ 20 側とも、アライメントマーク 16、17 は、軟 X 線あるいは真空紫外線用の多層膜からなる反射パターンであってもよい。なお、図示されていないが、ウエハステージ 20 上のアライメントマーク 17 とウエハ 13 のアライメントマーク、マスクステージ 19 上の基準アライメントマーク 16 と反射型マスク 12 のアライメントマークとは、それぞれ、アライメント光学系により位置合わせが行なわれる。

【0024】次に、本実施例の反射型マスクにおける吸収体パターンについて、図 3 を用いてさらに詳しく説明する。ここでは、この反射型マスク上のパターンを 1/5 の縮尺でウエハに転写する場合を考える。吸収体パターン 3 の幅は $0.5 \mu\text{m}$ であり、吸収体パターン 3 間の反射膜 2 が露出している部分の幅も $0.5 \mu\text{m}$ であるとする。像側の開口数は 0.08 であり、使用する光の波長は 13 nm であるとする。吸収体パターン 3 を透過してから反射し再び吸収体パターン 3 を透過した光の強度を T 、吸収体パターン 3 を透過することなく反射膜 2 で反射された光の強度を I とする。

【0025】図 19 (a) ~ (d) は、上述したように、 T/I がそれぞれ 0、0.05、0.1、0.2 である場合における、ウエハ上での光の強度分布を示している。ここでは、1/5 縮小で露光する場合を考えているから、ウエハ上での線幅は $0.1 \mu\text{m}$ となる。すなわち、中心から $\pm 0.05 \mu\text{m}$ の範囲が露光され、それ以外の部分は露光されないようにする必要がある。

【0026】ここで、中心から $0.05 \mu\text{m}$ の位置の強度と、 $\pm 10\%$ の位置（すなわち $0.045 \mu\text{m}$ および $0.055 \mu\text{m}$ の位置）における強度の差との比（強度の傾き）を求めた結果を図 4 に示す。この値が大きいほど露光時における強度変動に対する許容値が大きくなる。図 4 から分かるように、吸収体の透過率が大きい方が、強度変動に対する許容値という観点からは好ましい。この効果が顕著になる、すなわち 10% 以上の効果が望めるようにするために、吸収体の透過率が 0.005 以上であることが望ましい。一方、強度分布の中心のピークを 1 次ピーク、その両側のピークを 2 次ピークと呼ぶことにすると、図 19 (a) ~ (d) から明らかなように、吸収体の透過率が 0.1 のときに 1 次ピークと 2 次ピークの強度比が 1/5 となり、吸収体の透過率が 0.

2のときにはその比は2/5となる。すなわち、コントラスト比が5以上であるべきいうことから、吸収体の透過率は0.1以下であることが望ましい。さらに好ましくは、コントラスト比が10以上ということから、吸収体の透過率は0.05以下であることが望ましい。結局、吸収体の透過率が0.005~0.1との範囲にあるときに、最もハーフトーンタイプの反射型マスクとして有効であることになる。

【0027】図5に波長13nmの光に対する各種の元素(単体)における δ および k を示す。1点鎖線は最も好ましい δ と k の関係を表わし、その近くにある物質がハーフトーンタイプのマスクの吸収体として最も好ましいことを表わす。2本の実線は、その間にある物質がハーフトーンタイプのマスクの吸収体として好ましいことを表わしている。図5より、波長が13nmである場合、V, Cr, Mn, Fe, Co, Ag, Cd, In, Sn, Sb, ランタノイド元素, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, Au, Tl, Pb, Biの単体およびそれらを含む化合物や合金を用いてマスクの吸収体パターンを構成することが好ましいことが分かる。

【0028】図5の2本の実線の外側にある物質は、単体としてはマスクの吸収体として好ましくないものであるが、B, C, Ti, Zr, Mo, Ru, Rh, Pdを一群とする元素群からの少なくとも1つの元素と、Ca, Mg, Al, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Teを一群とする元素群からの少なくとも1つの元素とを同時に含む化合物あるいは合金は、その δ と k が図5の2本の実線の内側にある関係を有することとなり、反射型マスクの吸収体として好ましい物質となる。例えばMoとNiの1:1(原子比)の合金は、 $\delta=0.061$, $k=0.031$ となり、ハーフトーンタイプのマスクに使用される吸収体として好ましい。

【0029】吸収体パターンの厚さ d について、 $d=\lambda/(4|\delta|)$

とすることにより、吸収体を透過し、その下にある反射膜により反射され、さらに吸収体を透過した軟X線あるいは真空紫外線の位相が、単に反射部により反射された軟X線あるいは真空紫外線の位相に対して π だけ異なることとなる。

【0030】

$3\lambda/(16|\delta|)<d<5\lambda/(16|\delta|)$

である厚さにおいても位相はほぼ π だけ変化し、位相シフト型のマスクとして結像性能の向上に寄与する。

【0031】反射膜として、MoとSiからなる膜周期6.7nmの41層の多層膜を使用し、この反射膜上にPt層を吸収体として積層した場合において、吸収体透過反射光と直接反射光との振幅の比の吸収体厚に対する変化を図6(a)に、吸収体透過反射光と直接反射光との位相差 π の吸収体厚に対する変化を図6(b)に示す。ここで吸収体透過反射光とは、吸収体を透過してその下

にある反射膜によって反射され、さらに吸収体を透過して出射する軟X線あるいは真空紫外線のことである。また、直接反射光とは、吸収体を通過することなく単に反射膜で反射された軟X線あるいは真空紫外線のことである。なお振幅の比の2乗は強度の比であり、上述した吸収体の透過率となる。図6(a),(b)に示すグラフ(以下の図7~図11、図13~図16も同じ)は、B. L. Henke, E. M. Gullikson and J. C. Davisによる"Low-Energy X-ray Interaction Coefficients: Photoabsorption, Scattering and Reflection"で与えられているテーブルに基づいて計算したものである。このテーブルは、文献:B. L. Henke, P. Lee, T. J. Tanaka, R. L. Shimabukuro and B. K. Fujikawa, Atomic Data and Nuclear Data Tables, Vol. 27, No. 1(1982)に示されている。

【0032】図5に示されるように、Ptは吸収体として好ましい光学定数を有しているが、図6(a),(b)において、それぞれ2本の実線が描かれている。これらの実線は、上述した条件による望ましい振幅比の範囲、位相差 π の範囲の上限と下限を示すものである。したがって、図6(a),(b)の両方でグラフがこれら2実線内に含まれるような吸収体厚が、ハーフトーンタイプの反射型マスクにおける吸収体の厚さとして好ましいものとなる。図より明らかなように、Pt層の厚さが30nm近傍のときに、両方のグラフで実線の内側に含まれている。結局、吸収体を30nm厚のPt層とすることにより、波長13nmの光に対して好ましいハーフトーンタイプの反射型マスクが得られることになる。

【0033】図7(a),(b)は、上述のMo/Si多層膜からなる反射膜上にCr層を吸収体として設けた場合の振幅の比、位相差 π の吸収体厚依存性をそれぞれ示している。図8(a),(b)は、Ta層を吸収体とした場合の同様のグラフである。図9(a),(b)は、MoとNiとの合金層を吸収体とした時の同様のグラフである。上述したようにCr, Taの各単体やMo-Ni合金は、いずれも吸収体として好ましい光学定数を有している。これらの図より、Crの場合には50nm近傍の厚さ、Taの場合には60nm近傍の厚さ、Mo-Ni合金の場合には50nm近傍の厚さとすることにより、それぞれ波長13nmの光に対するハーフトーンタイプのマスクの好ましい吸収体パターンとなることが分かる。

【0034】一方、図10(a),(b)は、それぞれ、上述のMo/Si多層膜上に吸収体としてMo層を設けた場合における振幅の比と位相差 π とを示すグラフである。上述したように、Mo単体はハーフトーンタイプの反射型マスクの吸収体としては適さない。図10(a)からは振幅比が適当な値となるのは厚さ200nm以上であることが分かるが、この時、位相差 π は ± 1 を越えており、吸収体として適さないことが実際に示されている。原理的には、位相差 π は ± 1 近傍である必要はなく、 ± 1 以外の奇数であっても像性能の向上が望めるは

ずである。しかしながら、位相差 π が ± 1 以外の奇数の場合には、若干の膜厚変動によっても位相差 π が大きく変化してしまい好ましくない。上述したMoの場合には、振幅の比が適当でありかつ位相差 π が奇数（-5）であるのは、吸収体の厚さが200nm以上の場合であり、反射部にできる陰の大きさの点からも好ましくない。また、図11(a),(b)は、上述のMo/Si多層膜からなる反射膜上にSi層を吸収体として設けた場合の振幅の比と位相差 π とを示している。図8から分かるようにSi単体はハーフトーンタイプの反射型マスクの吸収体としては適さないが、実際に、厚さ200nm以下においては、振幅の比、位相差 π とも好適な値とはならないことが、実際にこの図から分かる。

【0035】以上、光の波長を13nmとした場合について説明したが、本発明は任意の波長の軟X線あるいは真空紫外線に対しても適用し得るものである。次に、13nm以外の波長における例として、波長5nmの光を用いた場合について説明する。

【0036】図12は、波長5nmの光に対する各種元素（単体）の δ と k を示している。図において、1点鎖線は最も好ましい δ と k の関係を表わし、その近くにある物質がハーフトーンタイプのマスクの吸収体として最も好ましいことになる。2本の実線は、その間にある物質がハーフトーンタイプのマスクの吸収体として好ましいことを表わしている。図12から、Mg, Al, Si, Cr, Mn, Fe, Ce, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Rh, Pd, Ag, ランタノイド元素, Hf, Au, Pb, Biのいずれかの単体、およびそれらを含む化合物、合金が、波長5nmの場合のマスクの吸収体として好ましいことが分かる。2本の実線の外側にある物質は、単体ではマスクの吸収体として好ましくないが、Ca, Se, Ti, V, Ru, Cd, In, Sn, Sb, Te, Baを一群とする元素群からの少なくとも1つの元素と、Y, Zr, Nb, Mo, Ta, W, Re, Os, Ir, Ptを一群とする元素群からの少なくとも1つの元素とを同時に含む化合物あるいは合金は、図12の2本の実線の内側の δ と k の関係を有することとなり、マスクの吸収体として好ましい物質となる。例えば、PtとRuの1:1（原子比）の合金は、 $\delta=0.00899$ 、 $k=0.00834$ となって、ハーフトーンタイプの吸収体として好ましい。

【0037】図13(a),(b)は、それぞれ、CrとCからなる膜周期2.5nmの201層の多層膜を反射膜として用いてこの反射膜上に吸収体としてNi層を積層した場合における、吸収体透過反射光と直接反射光との振幅の比の吸収体厚による変化を示すグラフ、同じく吸収体透過反射光と直接反射光との位相差 π の吸収体厚による変化を示すグラフである。これらの図においても、波長が13nmの場合と同様に、振幅の比、位相差 π のそれぞれについて、上限と下限が実線で示されてい

る。上述したようにNiは吸収体として好ましい光学定数を有するが、図13(a),(b)からも分かるように、厚さを70nm近傍とすることにより、振幅の比と位相差 π がともに好ましい値となる。結局、Niは70nmの厚さとすることにより、波長5nmの光に対するハーフトーンタイプのマスクの吸収体として好ましいことが分かる。

【0038】図14(a),(b)は、上述のCr/C多層膜からなる反射膜上にSi層を吸収体とした設けた場合の同様のグラフである。図15(a),(b)は、PtとRuとの合金層を吸収体とした場合の同様のグラフである。上述したようにSi単体やPt-Ru合金は吸収体として好ましい光学定数を有している。これらの図から明らかに、Siは190nm近傍の厚さとすることにより、Pt-Ru合金は110nmの厚さとすることにより、5nmのハーフトーンタイプのマスクの吸収体として好ましいものとなる。

【0039】一方、図16(a),(b)は、それぞれ、上述のCr/C多層膜上に吸収体としてTa層を設けた場合における振幅の比と位相差 π とを示すグラフである。上述したように、Ta単体はハーフトーンタイプの反射型マスクの吸収体としては適さない。振幅比が適当な値となるのは厚さ80nm以下のときであるが、位相差 π が適当な値となるのは厚さが80nmは越える場合であり、両方の条件を満たす厚さの範囲が存在しないことが分かる。

【0040】次に上記説明したマスクや露光装置を利用したデバイスの製造方法の実施例を説明する。図20は微小デバイス（ICやLSI等の半導体チップ、液晶パネル、CCD、薄膜磁気ヘッド、マイクロマシン等）の製造工程を示すフローチャートである。ステップ71

（回路設計）では半導体デバイスの回路設計を行う。ステップ72（マスク製作）では設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。このマスクは反射型マスクであって、上記説明した特徴を有している。一方、ステップ73（ウエハ製造）ではシリコン等の材料を用いてウエハを製造する。ステップ74（ウエハプロセス）は前工程と呼ばれ、上記用意したマスクとウエハを用いて、リソグラフィ技術によってウエハ上に実際の回路を形成する。次のステップ75（組み立て）は後工程と呼ばれ、ステップ74によって作製されたウエハを用いて半導体チップ化する工程であり、アセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）、パッケージング工程（チップ封入）等の工程を含む。ステップ76（検査）ではステップ5で作製された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行なう。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これが出荷（ステップ77）される。

【0041】図21は上記ウエハプロセスの詳細な工程を示すフローチャートである。ステップ81（酸化）で

はウエハの表面を酸化させる。ステップ82 (CVD) ではウエハ表面に絶縁膜を形成する。ステップ83 (電極形成) ではウエハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ84 (イオン打込み) ではウエハにイオンを打ち込む。ステップ85 (レジスト処理) ではウエハに感光剤を塗布する。ステップ86 (露光) では上記説明したマスクと露光装置によってマスクの回路パターンをウエハに焼付露光する。ステップ87 (現像) では露光したウエハを現像する。ステップ88 (エッチング) では現像したレジスト像以外の部分を削り取る。ステップ89 (レジスト剥離) ではエッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返すことによって、ウエハ上に多重に回路パターンが形成される。本実施例の製造方法を用いれば、従来は製造が難しかった高集積度の半導体デバイスを製造することができる。

【0042】

【発明の効果】以上説明したように本発明は、ハーフトーンタイプの反射型マスクにおける吸収体の材質と厚さとを具体的に特定できるようにするにより、透過型マスクにおける透過膜の熱歪みに起因するパターン歪みの問題を解決するとともに、吸収体の厚さに起因する反射部の陰の少ない反射型マスクが容易に得られ、さらに位相シフトタイプであるので同一の開口数の光学系においてより高解像度の結像を実現できるようになるという効果がある。そして、線幅精度の向上、および重ね合わせ精度の向上も図れるようになるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明によるハーフトーンタイプの反射型マスクの基本的な構成を示す断面図である。

【図2】(a)は本発明の一実施例の縮小露光装置の構成を示すブロック図、(b)はこの縮小露光装置における縮小光学系を示す図である。

【図3】本発明によるハーフトーンタイプの反射型マスクの動作を説明するための図である。

【図4】吸収体透過率に対する結像パターンの強度の関係を示す特性図である。

【図5】波長13nmの光に対する種々の物質の光学定数を示す特性図である。

【図6】(a)、(b)は、それぞれ、波長を13nmとし吸収体をMo/Si多層膜上のPtとした場合における、吸収体厚に対する吸収体を透過して反射した光(吸収体透過反射光)と直接反射した光(直接反射光)との振幅の比の変化を示す特性図、吸収体透過反射光と直接反射光との位相差の変化を示す特性図である。

【図7】(a)、(b)は、それぞれ、波長を13nmとし吸収体をMo/Si多層膜上のCrとした場合における、吸収体厚に対する吸収体透過反射光と直接反射光との振幅の比の変化、位相差の変化を示す特性図である。

【図8】(a)、(b)は、それぞれ、波長を13nmとし吸

収体をMo/Si多層膜上のTaとした場合における、吸収体厚に対する吸収体透過反射光と直接反射光との振幅の比の変化、位相差の変化を示す特性図である。

【図9】(a)、(b)は、それぞれ、波長を13nmとし吸収体をMo/Si多層膜上のMo-Ni合金とした場合における、吸収体厚に対する吸収体透過反射光と直接反射光との振幅の比の変化、位相差の変化を示す特性図である。

【図10】(a)、(b)は、それぞれ、波長を13nmとし吸収体をMo/Si多層膜上のMoとした場合における、吸収体厚に対する吸収体透過反射光と直接反射光との振幅の比の変化、位相差の変化を示す特性図である。

【図11】(a)、(b)は、それぞれ、波長を13nmとし吸収体をMo/Si多層膜上のSiとした場合における、吸収体厚に対する吸収体透過反射光と直接反射光との振幅の比の変化、位相差の変化を示す特性図である。

【図12】波長5nmの光に対する種々の物質の光学定数を示す特性図である。

【図13】(a)、(b)は、それぞれ、波長を5nmとし吸収体をCr/C多層膜上のNiとした場合における、吸収体厚に対する吸収体透過反射光と直接反射光との振幅の比の変化、位相差の変化を示す特性図である。

【図14】(a)、(b)は、それぞれ、波長を5nmとし吸収体をCr/C多層膜上のSiとした場合における、吸収体厚に対する吸収体透過反射光と直接反射光との振幅の比の変化、位相差の変化を示す特性図である。

【図15】(a)、(b)は、それぞれ、波長を5nmとし吸収体をCr/C多層膜上のPt-Ru合金とした場合における、吸収体厚に対する吸収体透過反射光と直接反射光との振幅の比の変化、位相差の変化を示す特性図である。

【図16】(a)、(b)は、それぞれ、波長を5nmとし吸収体をCr/C多層膜上のTaとした場合における、吸収体厚に対する吸収体透過反射光と直接反射光との振幅の比の変化、位相差の変化を示す特性図である。

【図17】従来の位相シフト反射型マスクの構成を示す断面図である。

【図18】従来の位相シフト透過型マスクの構成を示す断面図である。

【図19】結像パターンの強度分布を示す特性図であって、(a)~(d)は、それぞれ吸収体の透過率が0, 0.05, 0.1, 0.2の場合に対応するものである。

【図20】半導体デバイスの製造工程を示すフローチャートである。

【図21】ウエハプロセスの詳細な工程を示すフローチャートである。

【符号の説明】

- 1 基板
- 2 反射膜
- 3 吸収体パターン

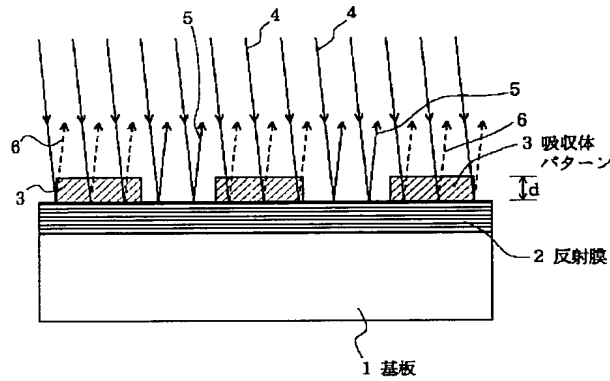
15

16

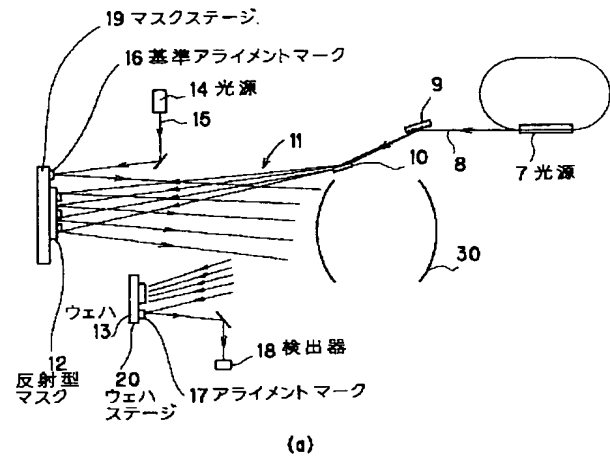
- 7 光源
12 反射型マスク
13 ウェハ
16 基準アライメントマーク
17 アライメントマーク

- 19 マスクステージ
20 ウェハステージ
21, 23 凹面ミラー
22 凸面ミラー
30 結像光学系

【図 1】

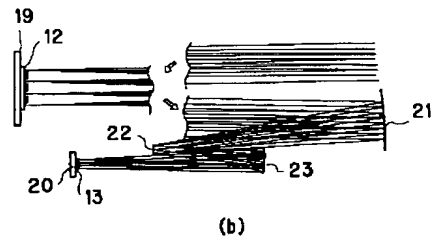
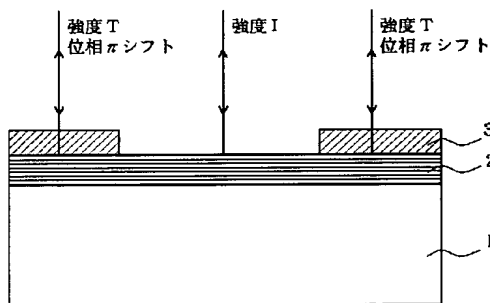


【図 2】



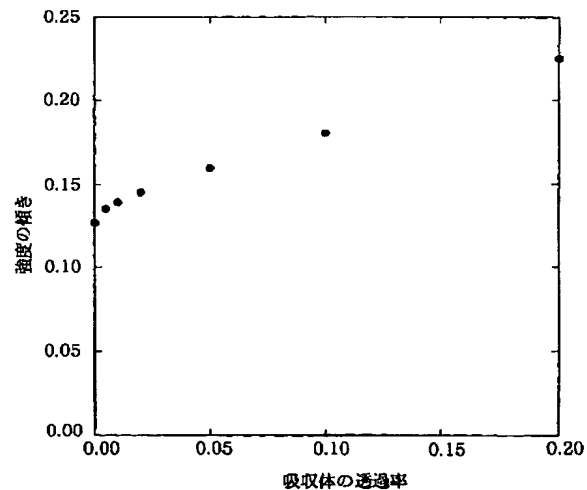
(a)

【図 3】

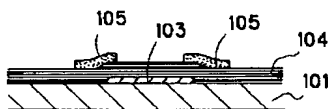


(b)

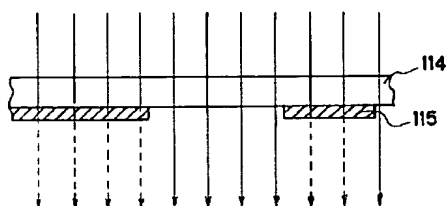
【図 4】



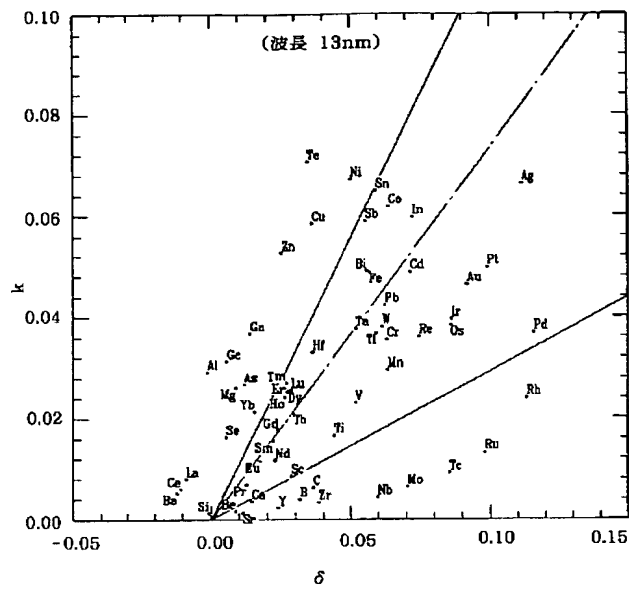
【図 17】



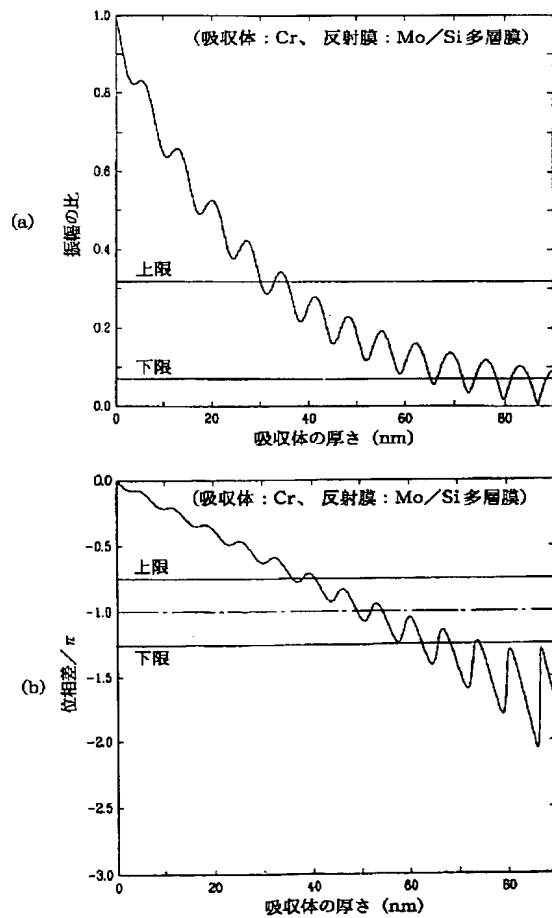
【図 18】



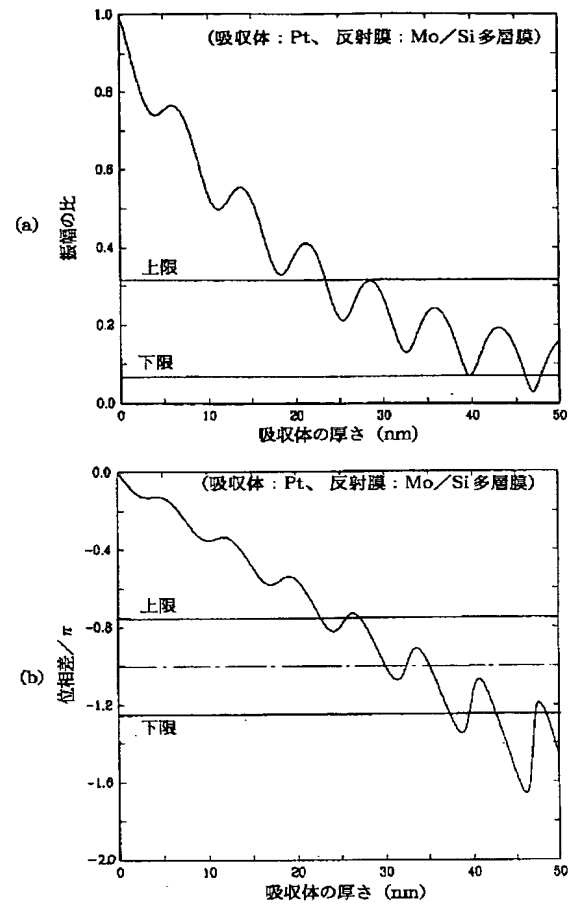
【図 5】



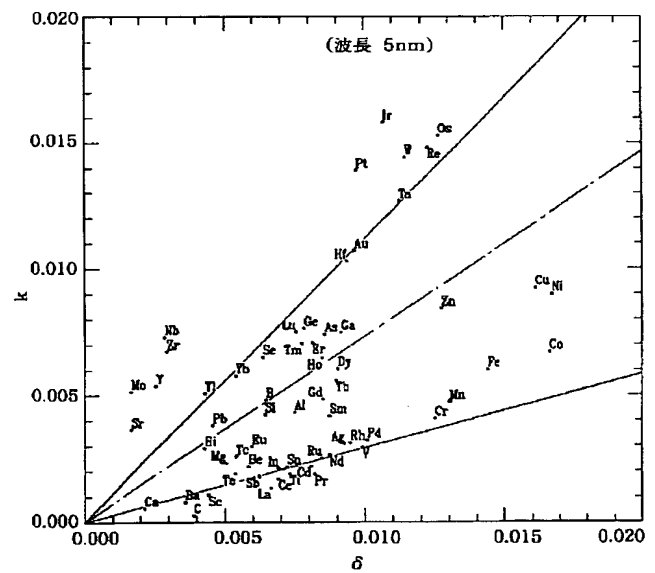
【図 7】



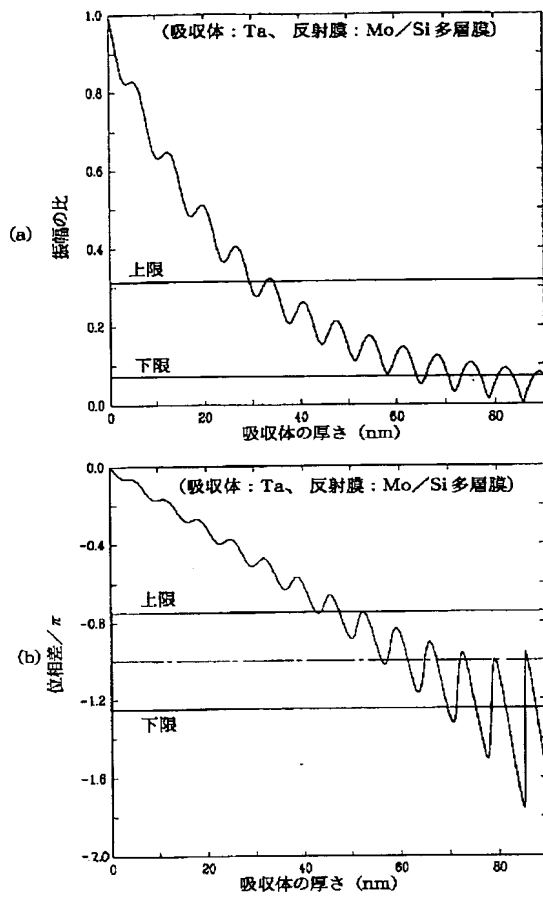
【図 6】



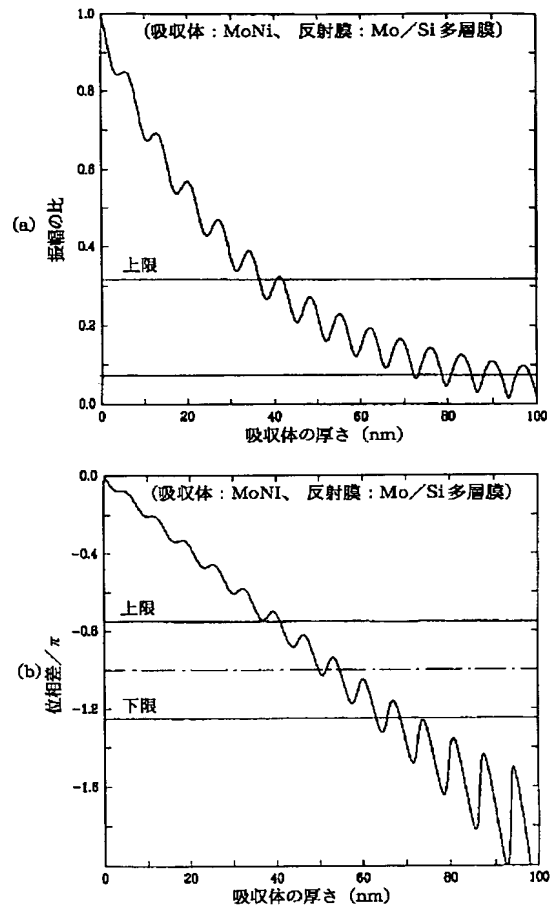
【図 12】



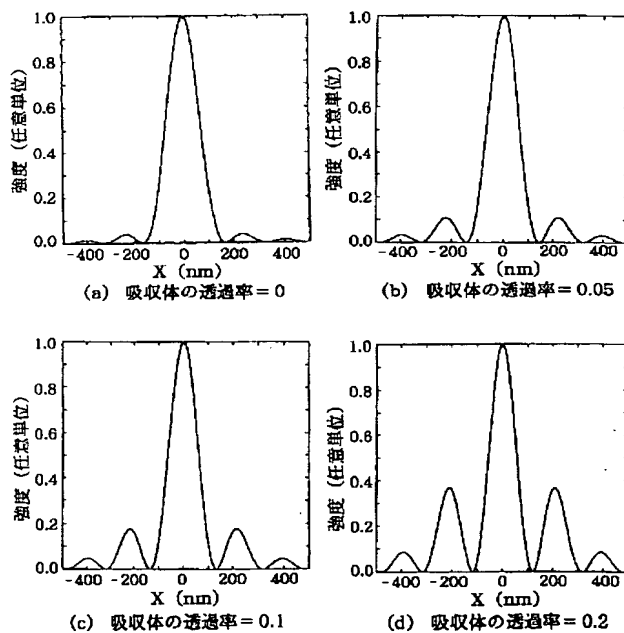
【図 8】



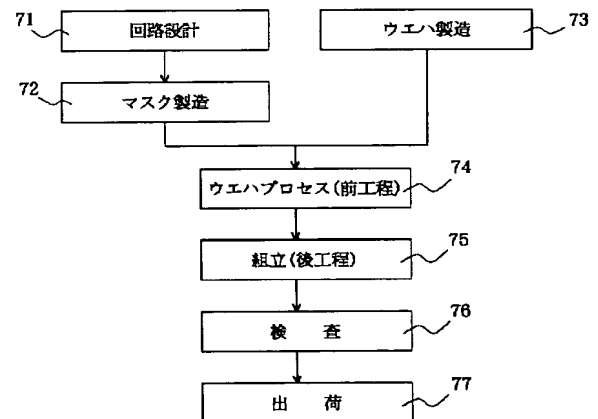
【図 9】



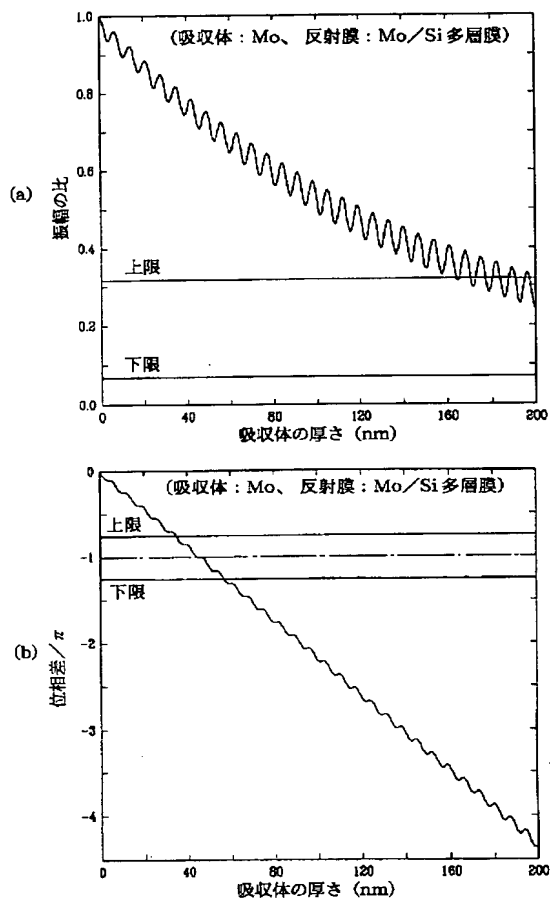
【図 19】



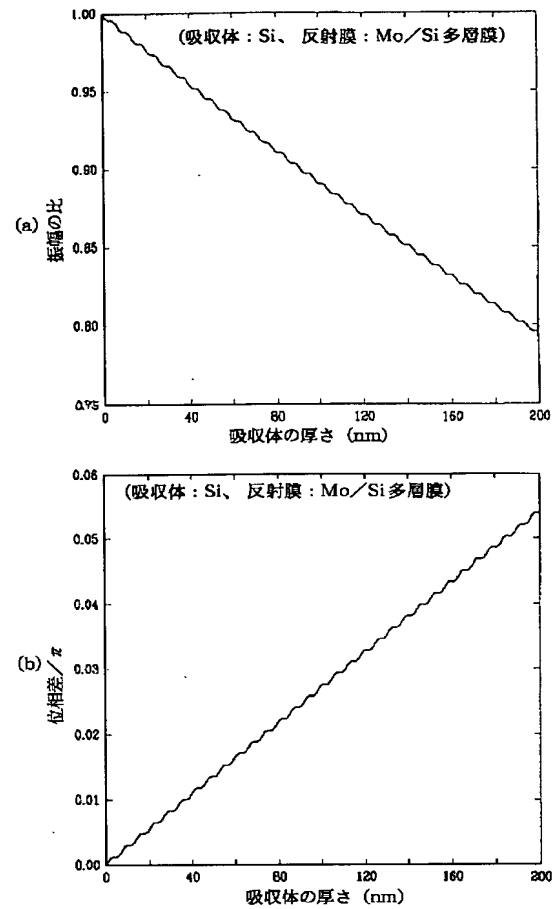
【図 20】



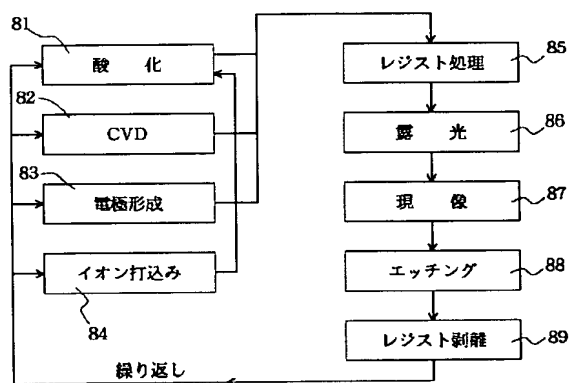
【図 10】



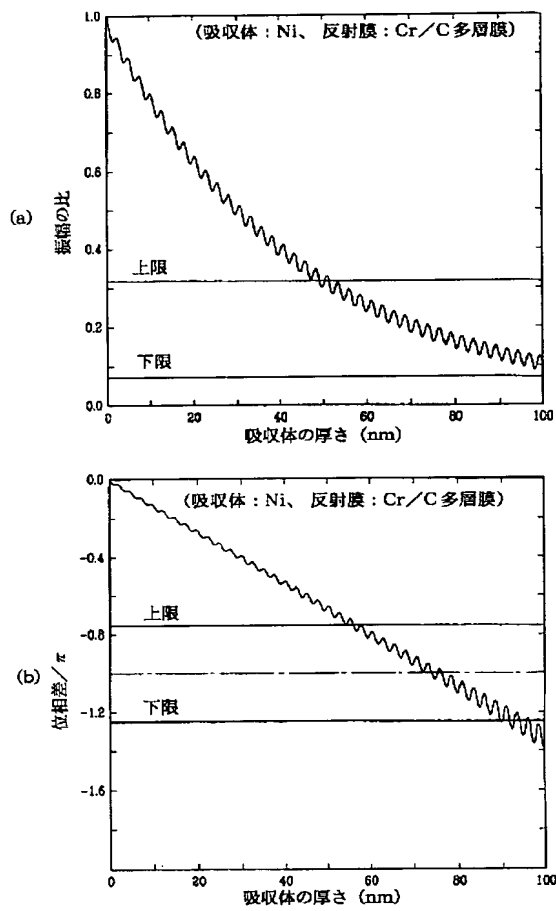
【図 11】



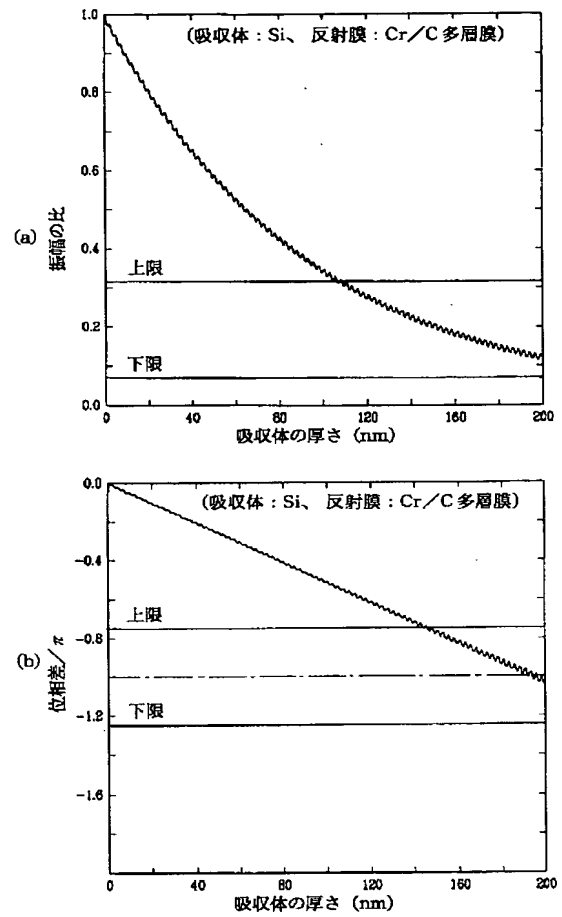
【図 21】



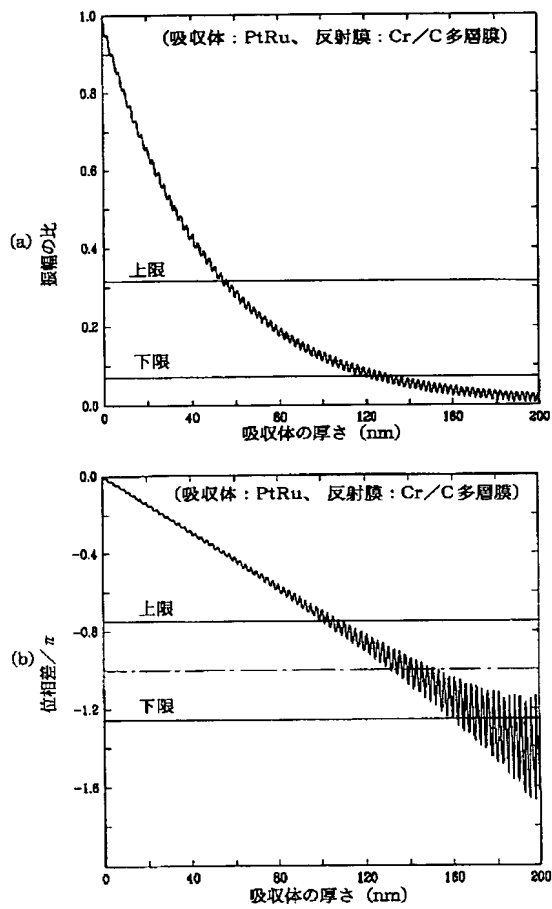
【図 1 3】



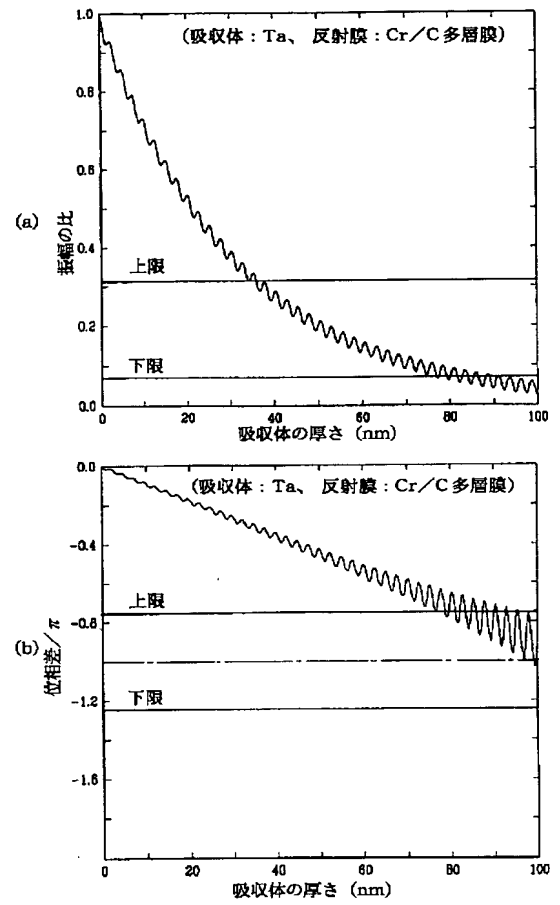
【図 1 4】



【図 15】



【図 16】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☐ **FADED TEXT OR DRAWING**

☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.